(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3749924号
(P3749924)
(45)発行日　平成18年3月1日(2006.3.1)　(24)登録日　平成17年12月16日(2005.12.16)

(51)Int.Cl.　F I
*H01L 21/265 (2006.01)*　H01L 21/265 Z
H01L 21/265 603A
H01L 21/265 W

請求項の数 7　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願平8-323065
(22)出願日　平成8年12月3日(1996.12.3)
(65)公開番号　特開平10-163123
(43)公開日　平成10年6月19日(1998.6.19)
審査請求日　平成11年11月9日(1999.11.9)
審判番号　不服2003-11855(P2003-11855/J1)
審判請求日　平成15年6月26日(2003.6.26)

(73)特許権者　000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号
(73)特許権者　503360115
独立行政法人科学技術振興機構
埼玉県川口市本町４丁目１番８号
(74)代理人　100091340
弁理士　高橋　敬四郎
(72)発明者　後藤　賢一
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号　富士通株式会社内
(72)発明者　加勢　正隆
神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号　富士通株式会社内
最終頁に続く

(54)【発明の名称】イオン注入方法および半導体装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
固体のデカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化させる工程と、
気体状のデカボラン分子を加速電圧４０Ｖ～６０Ｖの電子照射でイオン化させるイオン化工程と、
前記イオン化工程の後に、選択する質量数を１０７から１２３の範囲に設定し、前記イオン化したデカボランを質量分析する工程と、
次いで、前記質量分析したデカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程と、
を含むイオン注入方法。
【請求項２】
固体のデカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化させる工程と、
気体状のデカボラン分子を加速電圧４０Ｖ～６０Ｖの電子照射でイオン化するイオン化工程と、
前記イオン化工程の後に、選択する質量数を１０７から１２３の範囲に設定し、前記イオン化したデカボランを質量分析する工程と、
次いで、前記質量分析したデカボランのイオンを電界で加速して、少なくとも表面にｎ型シリコン領域を含むシリコンウエハに注入するイオン注入工程と、
次いで、活性化アニールを行い、ｐｎ接合を形成する工程と、
を有する半導体装置の製造方法。

【請求項３】
前記シリコンウエハが絶縁ゲート電極を備えたｎ型シリコン表面層を含み、前記イオン注入工程が、ｐチャネルＭＯＳＦＥＴのソース／ドレイン注入工程である請求項２記載の半導体装置の製造方法。
【請求項４】
前記イオン注入工程の前に、シリコンウエハに電気的に不活性な元素のイオン注入を行い、表面領域をプリアモルファス化する工程を有する請求項２記載の半導体装置の製造方法。
【請求項５】
前記イオン注入工程が、ｐチャネル型ＭＯＳトランジスタのポリシリコン乃至アモルファスシリコンからなるゲート電極へのデカボランイオンの注入工程であり、それによって$p^+$型ゲート電極を形成することを特徴とする請求項２記載の半導体装置の製造方法。
【請求項６】
前記ゲート電極の高さが0．１μｍ以下であることを特徴とする請求項５記載の半導体装置の製造方法。
【請求項７】
前記イオン注入工程が、ｐチャネルＭＯＳトランジスタの埋め込みチャネル領域へのデカボランイオンの注入工程であることを特徴とする請求項２記載の半導体装置の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は半導体基板へのイオン注入に関し、特にＩＶ族半導体にボロンを浅くイオン注入する方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
所望導電型の不純物を所望領域にドープすることは半導体デバイス構造作成のため重要な技術である。不純物ドープ方法として、イオン注入が広く用いられている。イオン注入においては、所望のイオンに加速エネルギを与え、対象とする半導体基板にイオン注入し、その後注入した不純物を活性化することによって電気的に活性な不純物ドープ領域を得る。イオン加速エネルギ、ドーズ量を選択することにより不純物ドープ領域の深さ、抵抗値を制御する。シリコン基板にｐ型領域を形成するためには、通常ボロンイオンが注入される。
【０００３】
半導体デバイスの高速化、高集積化のためには、ＭＯＳトランジスタ等のサイズを微細化することが要求される。スケーリング則に従ってＭＯＳトランジスタを微細化すると、ゲート長０．１μｍのデバイスでは、ソース／ドレインの接合深さが０．０５μｍ程度となり、従来のイオン注入機では実現が困難となる。
【０００４】
一般的なイオン注入装置は、加速エネルギが小さくなればなる程生成できるビーム電流量は少なくなる。イオンビームは、それ自身が有するビームポテンシャルにより広がろうとする傾向を有する。広がり幅は、ビーム電流値に比例し、エネルギの１．５乗に反比例することが知られている。浅い接合を作るために、加速エネルギを低下させると、ビームの効率が悪化し、ビーム電流の低下を招く。
【０００５】
ゲート長０．１μｍ以下のＭＯＳトランジスタを作成する場合、ボロンの加速エネルギとしては５ｋｅＶ以下が要求される。Ｂイオンを加速エネルギ５ｋｅＶでイオン注入する場合、従来のイオン注入装置では電流量が１ｍＡ以下となってしまう。このように低いビーム電流でＭＯＳトランジスタを作成しようとすれば、生産性が極端に低下し、生産コストが上昇してしまう。
【０００６】

イオンを浅く注入するためには、加速エネルギを低下させる他、注入するイオンの質量を増加させる方法がある。ボロンイオンを注入するために$BF_2$イオンを使う方法が提案されている。B単体のイオン注入に較べ、$BF_2$イオンのイオン注入では、Bイオンの加速エネルギが実効的に約１／５になる。従って浅い接合形成に有利となる。

【０００７】

しかしながら、ＭＯＳトランジスタを$BF_2$イオン注入を用いて形成すると、他の問題が生じることが知られてきた。ＭＯＳトランジスタのソース／ドレインにイオン注入する場合、同時にゲートにもイオンが注入される。シリコンゲートには、空乏化を防止するために充分量の不純物を注入する必要がある。微細なＭＯＳトランジスタにおいては、ゲート酸化膜も薄くなり、たとえば１０ｎｍ以下の薄い酸化膜がゲート酸化膜として用いられる。Bイオンのソースとして$BF_2$イオンを用いると、注入された弗素がゲート酸化膜中のB拡散を増速してしまう。これらのB原子が弗素の影響によりゲート酸化膜を通過してその下のチャネル領域に拡散すると、ＭＯＳトランジスタのしきい値を変動させてしまう。従って、薄いゲート酸化膜を持つｐチャネルＭＯＳトランジスタには$BF_2$イオン注入を簡単に採用することはできない。

【０００８】

また、微細なパターンを有する半導体デバイスにイオンを注入する場合、チャージング現象が問題になる。ゲート電極に正電荷が帯電し、この正電荷がゲート酸化膜を通過して放電すると、ゲート酸化膜が劣化する。この劣化現象は、流れ込むイオン電流が大きいほど顕著となる。

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、ＩＶ族半導体基板に浅いｐ型不純物ドープ領域を容易に作成することができる半導体装置の製造方法を提供することである。

【００１０】

本発明の他の目的は、シリコン半導体基板に浅いボロン注入領域を作成することのできるイオン注入方法を提供することである。

【００１１】

本発明のさらに他の目的は、ＩＶ族半導体基板に浅いｐ型不純物ドープ領域を作成するのに適した半導体装置の製造装置を提供することである。

【００１２】

【課題を解決するための手段】

本発明の１観点によれば、固体のデカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化させる工程と、気体状のデカボラン分子を加速電圧４０Ｖ～６０Ｖの電子照射でイオン化させるイオン化工程と、前記イオン化工程の後に、選択する質量数を１０７から１２３の範囲に設定し、前記イオン化したデカボランを質量分析する工程と、次いで、前記質量分析したデカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程と、を含むイオン注入方法が提供される。

【００１３】

本発明の他の観点によれば、固体のデカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化させる工程と、

気体状のデカボラン分子を加速電圧４０Ｖ～６０Ｖの電子照射でイオン化するイオン化工程と、前記イオン化工程の後に、選択する質量数を１０７から１２３の範囲に設定し、前記イオン化したデカボランを質量分析する工程と、次いで、前記質量分析したデカボランのイオンを電界で加速して、少なくとも表面にｎ型シリコン領域を含むシリコンウエハに注入するイオン注入工程と、次いで、活性化アニールを行い、ｐｎ接合を形成する工程と、を有する半導体装置の製造方法が提供される。

【００１４】

デカボランは、$B_{10}H_{14}$の分子式を有し、B原子と較べて著しく大きな分子量を有する。同一イオン価のBと$B_{10}H_{14}$とを同一加速電圧で加速すると、$B_{10}H_{14}$はBに比べ質量が約１０倍あるためＢ１原子当りの加速エネルギは約１／１０になる。また、１個の分子を

注入すると１０個のＢ原子を注入したこととなるため、実効注入量も１０倍となる。
【００１５】
Ｂ１原子当りの加速エネルギが小さくなるため、$B_{10}H_{14}$の加速エネルギを高く設定することができる。このため、ビームの広がりを抑制することができる。また、同一イオン電流で１０倍のＢを注入することができるため、注入効率も約１０倍となる。従って全体的に考え、Ｂイオン注入と比べ、$B_{10}H_{14}$は１００倍も効率的にボロンを注入することが可能である。
【００１６】
デカボランは弗素を含まない。従って、弗素がイオン注入されることによる悪影響は生じない。厚さ１０ｎｍ以下のゲート酸化膜を用いたＭＯＳトランジスタにおいても、Ｂの増速拡散を抑制することができる。従って、しきい値変動の少ない、信頼性の高いｐチャネルＭＯＳトランジスタを作成することができる。
【００１７】
また、Ｂイオン注入と比べ、$B_{10}H_{14}$イオン注入はイオン電流を約１／１０とすることができるためチャージング現象を実効的に抑制することが可能である。従って信頼性の高いゲート酸化膜を有するｐチャネルＭＯＳトランジスタを生産することが可能である。
【００１８】
【発明の実施の形態】
以下図面に従って本発明の実施例を説明する。
【００１９】
図１はデカボラン（$B_{10}H_{14}$）の分子構造を示す。大きな丸はＢを示し、小さな丸はＨを示す。
【００２０】
図２は実効注入エネルギに対する注入ボロン原子数の関係を示すグラフである。LANGUM-CHAILD 則に従って計算した結果である。横軸は等価加速電圧を示し、シリコン中に注入される深さを表わす。縦軸はボロン原子数を示し、単位時間当り単位面積に注入されるボロン原子数を示す。
【００２１】
注入される深さを同一にすると、デカボランの原子数はＢの１００倍、$BF_2$ の２０倍となることが判る。
【００２２】
図３はデカボランのイオン注入を行なうデカボランイオン注入装置の構成を概略的に示すダイアグラムである。デカボランボトル１がバルブ２を介して真空処理室１０に接続されている。真空処理室１０内には、電子銃を有するイオナイザ１１、マスフィルタ１２、ファラデーカップ１３、アクセルレータ１４、デフレクタ１５、ターゲット１６が配置されている。デカボランボトル１内でデカボランは気化し、気体デカボランが真空処理室１０内に供給される。気体デカボランはイオナイザー１１で電子照射を受け、正イオンとなり、加速されてターゲット１６に注入される。
【００２３】
図４Ａ、４Ｂはデカボランのイオン化方法を示すダイアグラムである。図４Ａにおいて、デカボランのガスはノズル４から吹出し、イオナイザ１１でイオン化され、アクセルレータ１４で加速されてターゲットに向って進行する。
【００２４】
図４Ｂにおいては、デカボランガスはプラズマ発生室１８内においてプラズマ化され、引出し電極１９の形成する引出し電界によって加速して引出される。さらにアクセルレータ１４により加速され、ターゲットに向って進行する。
【００２５】
デカボランは構成原子数が大きく、高エネルギのビームを照射すると分裂する可能性が高い。プラズマによってデカボランをイオン化すると、種々の分子量のイオンが発生してしまう。電子照射によれば、デカボラン分裂を低減することができる。

【００２６】
なお、プラズマによってデカボランをイオン化させた場合にも、その後段に質量分析機を配置することにより、所望の分子量のイオンのみを引出すことができる。
【００２７】
図５はシリコン基板に$B^+$、$BF_2^+$、$B_{10}H_{14}^+$イオンをそれぞれ注入した時の基板内のボロン濃度分布を示すグラフである。横軸は基板内の深さをｎｍで示し、縦軸はボロン濃度をａｔｏｍｓ／ｃｍ$^3$で示す。なお、$B^+$イオンの注入は加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量１×１０$^{14}$ｃｍ$^{-2}$で行ない、$BF_2^+$イオンの注入は、加速エネルギを５ｋｅＶ、ドーズ量を１×１０$^{14}$ｃｍ$^{-2}$で行なった。$B_{10}H_{14}^+$イオンの注入は、加速エネルギは他と同様に５ｋｅＶとし、ドーズ量はＢ原子のドーズ量が同一となるように１×１０$^{13}$ｃｍ$^{-2}$に設定した。
【００２８】
まず、$B^+$イオンの注入においては、$B^+$イオンがかなり深く注入されドーズ量のピーク位置も１０ｎｍより大きな値となっている。ＢＦ2$^+$イオンと$B_{10}H_{14}^+$の注入においてはドーズ量のピークは約３ｎｍ程度の位置にあり、その後急激に低下している。曲線ｐ４とｐ５とは低下する勾配が異なり、曲線ｐ４の方が狭い範囲に分布している。曲線ｐ４とｐ５を比較すると、そのピーク値はｐ４の方がわずかに高い。このように、$B_{10}H_{14}^+$イオンを注入すると、約１／１０のドーズ量で$BF_2^+$とほぼ同等のイオン注入量を得ることができる。
【００２９】
図５においては、$BF_2^+$イオンと$B_{10}H_{14}^+$イオンとを同一の加速エネルギでイオン注入した結果を示した。同一の加速エネルギでイオン注入すると、$B_{10}H_{14}^+$イオンは、$BF_2^+$イオンよりも浅く注入することができる。同じ深さにイオン注入しようとする場合は、$B_{10}H_{14}^+$イオンの加速エネルギはより高くすることができる。
【００３０】
図６は、ほぼ同じ深さに$B_{10}H_{14}$と$BF_2$とをイオン注入した実験結果を示す。横軸は基板内の深さをｎｍで示し、縦軸はボロン濃度をａｔｍｓ／ｃｍ$^3$で示す。
曲線ｐ７は$B_{10}H_{14}$を加速エネルギ１０ｋｅＶでドーズ量１×１０$^{13}$ｃｍ$^{-2}$でイオン注入した結果を示し、曲線ｐ８は$BF_2$を加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量１×１０$^{14}$ｃｍ$^{-2}$でイオン注入した結果を示す。図から明らかなように、曲線ｐ７とｐ８はほぼ同一の分布を示している。従って、$B_{10}H_{14}$をソースとしたイオン注入を行なう場合、$BF_2$をソースとしたイオン注入と比べ約２倍の加速エネルギを印加することができる。
【００３１】
イオン注入した不純物は、アニールを行なって活性化しないと電気的に活性な不純物とはならない。活性化アニールは同時に不純物の拡散を生じさせる。そこで、$B_{10}H_{14}$のイオン注入および$BF_2$のイオン注入を行なった後、９００℃および１０００℃で活性化アニールを行ないボロン分布がどのように変化するかを調べた。
【００３２】
図７Ａ、７Ｂは、$B_{10}H_{14}$イオン注入および$BF_2$イオン注入の後、９００℃および１０００℃で活性化アニールを行なった場合のボロン分布を示す。各図において、横軸は基板中の深さをｎｍで示し、縦軸はボロン濃度をｃｍ$^{-3}$で示す。図７Ａは、$B_{10}H_{14}^+$イオンを加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量１×１０$^{13}$ｃｍ$^{-2}$でイオン注入した場合を示し、図７Ｂは$BF_2^+$イオンを加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量１×１０$^{14}$ｃｍ$^{-2}$でイオン注入した結果を示す。曲線ｐ１０はイオン注入したままの状態のボロン分布を示し、曲線ｐ１１、ｐ１２は９００℃、１０秒間、１０００℃、１０秒間の活性化アニールを行なった後のボロン濃度分布を示す。また、曲線ｐ１３はイオン注入直後のボロン濃度分布を示し、曲線ｐ１４、ｐ１５は９００℃、１０秒間、１０００℃、１０秒間の活性化アニールを行なった後のボロン濃度分布を示す。なお、ボロン濃度分布はＳＩＭＳ測定によって行なった。
【００３３】

図７Ａに示すように、$B_{10}H_{14}$をイオン注入した場合、９００℃１０秒間の活性化アニールではボロン濃度分布はイオン注入直後のボロン濃度分布とほとんど変化していない。拡散によりわずかに平均深さが深くなっているのみである。１０００℃、１０秒間の活性化アニールを行なうと、$10^{19}cm^{-3}$以上の濃度領域において顕著な拡散が起こるのに対し、$10^{19}cm^{-3}$以下の濃度領域においてはイオン注入直後のボロン濃度分布がほぼ平行移動した状態を保っている。言い換えれば、１０００℃、１０秒間の活性化アニールを行なうと、$B_{10}H_{14}$のイオン注入領域は、理想的なボックス型不純物分布を示すようになる。

【００３４】

図７Ｂにおいては、$BF_2$ イオン注入直後のボロン濃度分布は$B_{10}H_{14}^+$ イオン注入と比べ、かなり広い深さ領域に渡って分布する。９００℃、１０秒間の活性化アニールを行なうと、ボロン濃度分布の勾配が緩やかになり、ボロン濃度分布は明確により広い領域に広がることが判る。１０００℃、１０秒間の活性化アニールは、９００℃、１０秒間の活性化アニールと較べると、ボロン濃度$10^{18}cm^{-3}$以上の領域でより広い領域に広がる顕著な傾向を示している。$10^{18}cm^{-3}$以下の濃度領域においては、９００℃、１０秒間の活性化アニールと１０００℃、１０秒間の活性化アニールにおいて顕著な差は認められない。

【００３５】

図７Ｂと図７Ａを比較すると、より浅い拡散層を得るためには、$B_{10}H_{14}^+$ イオン注入を行ない、約９００℃、１０秒間程度以下の活性化アニールを行なうことが好ましいと判る。また、$B_{10}H_{14}^+$ イオン注入後１０００℃、１０秒間程度以上の活性化アニールを行なうと、ボックス型のボロン濃度を得ることができる。

【００３６】

なお、図７Ａ、７Ｂにおけるボロン濃度はＳＩＭＳ測定の結果であり、必ずしも電気的に活性なボロン濃度を意味しない。後に説明するように、同一温度の活性化アニールを行なった場合、$B_{10}H_{14}$を用いた場合に$BF_2$ と比べより低いシート抵抗を実現することができる。

【００３７】

図８は、活性化アニール温度に対するシート抵抗の変化を示すグラフである。横軸は活性化アニール温度を℃で示し、縦軸をシート抵抗ｏｈｍ／□で示す。イオン注入条件としては、$B_{10}H_{14}^+$ イオンを加速エネルギ３ｋｅＶ、５ｋｅＶ、１０ｋｅＶでイオン注入し、$BF_2^+$ イオンを加速エネルギ５ｋｅＶでイオン注入した。活性化アニール温度としては、９００℃、９５０℃、１０００℃、１０５０℃を用いた。曲線ｐ１６は$B_{10}H_{14}^+$ を加速エネルギ３ｋｅＶでイオン注入した場合を示し、曲線ｐ１７は$B_{10}H_{14}^+$ イオンを加速エネルギ５ｋｅＶでイオン注入した結果を示し、曲線ｐ１８は$B_{10}H_{14}^+$ イオンを加速エネルギ１０ｋｅＶでイオン注入した結果を示す。曲線ｐ１９は、比較のため$BF_2^+$ イオンを加速エネルギ５ｋｅＶでイオン注入した結果を示す。また曲線ｐ２０は、$B^+$ イオンを加速エネルギを５ｋｅＶでイオン注入した結果を示す。

【００３８】

図６に示したように、$B_{10}H_{14}$イオンの加速エネルギ１０ｋｅＶでのイオン注入と$BF_2$ イオンの加速エネルギ５ｋｅＶでのイオン注入はほぼ同等の効果を示す。図８における曲線ｐ１８とｐ１９はこの場合に相当する。曲線ｐ１８は、曲線ｐ１９よりも常に下に位置し、低いシート抵抗が得られることを示している。すなわち、同一深さまでほぼ同一ドーズ量のイオン注入を行なっても、$B_{10}H_{14}$をイオン注入した場合に$BF_2$ と比べより低いシート抵抗が得られることが判る。

【００３９】

また、図８の結果は、$B_{10}H_{14}$のイオン注入を行ない、適当な活性化アニールを行なうことによりシート抵抗を低減できることを示している。

【００４０】

図９は、接合深さに対するシート抵抗の関係を示すグラフである。横軸は接合深さをｎｍで示し、縦軸はシート抵抗をｏｈｍ／□で示す。デカボランのイオン注入条件は、加速エ

ネルギ３ｋｅＶでドーズ量を$1\times10^{13}cm^{-2}$、$3\times10^{13}cm^{-2}$、$1\times10^{14}cm^{-2}$、および加速エネルギ５ｋｅＶでドーズ量$1\times10^{13}cm^{-2}$に変化させた。また参考として、$BF_2$イオンを加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量$1\times10^{14}cm^{-2}$でイオン注入した場合、ボロシリケートガラスからの固相拡散を行なった場合（プロットｐ２６、ｐ２７）およびキャリア濃度を$1\times10^{20}cm^{-3}$のボックス型の接合を仮定した時の理想的なシート抵抗（曲線ｐ２８）を示す。イオン注入後の活性化アニールは９００℃～１０００℃で行なった。

【００４１】

たとえば、加速エネルギ５ｋｅＶでデカボランをイオン注入した曲線ｐ２４と、同一加速エネルギ、同一Ｂドーズ量で$BF_2$をイオン注入した曲線ｐ２５を比較すると、デカボランをイオン注入した場合により浅く低抵抗の接合を形成できることがわかる。また、曲線ｐ２２、ｐ２３に示すように、極めて低いシート抵抗を得ることもできる。イオン電流に対応するイオン量の１０倍のボロンがドープできるためであろう。プロットｐ２６、ｐ２７と比較すると、固相拡散によるボロン拡散領域よりもかなり浅い接合を形成できることが判る。

【００４２】

図１０は、$p^+$ ｎ接合の逆バイアス特性を示すグラフである。横軸は逆バイアス電圧をＶで示し、縦軸はリーク電流をＡで示す。曲線ｐ２９は$B_{10}H_{14}$を加速エネルギ３０ｋｅＶ、ドーズ量$2\times10^{14}cm^{-2}$でイオン注入した場合を示し、曲線ｐ３０は$BF_2$イオンを加速エネルギ２５ｋｅＶ、ドーズ量$2\times10^{15}cm^{-2}$でイオン注入した場合を示す。デカボランのイオン注入を行なって接合を形成した場合にも$BF_2$のイオン注入を行なって接合を形成した場合と同様の良好な逆バイアス特性が得られることが判る。

【００４３】

図１１は、ｐチャネルＭＯＳトランジスタの構成を概略的に示す。ｎ型シリコン領域２１表面には、選択的にフィールド酸化膜２２が形成されている。フィールド酸化膜２２で画定された活性領域内に、厚さ約４ｎｍのゲート酸化膜２４が形成され、その上に多結晶シリコンのゲート電極２５が形成されている。なお、ゲート電極をポリサイド構造とする場合は、多結晶シリコンゲート電極２５ａの上にシリサイド層２５ｂを積層する。ゲート電極２５をパターニングした後、デカボランイオンを加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量$1\times10^{13}cm^{-2}$でイオン注入し、ＬＤＤ用の延長部２６を形成する。なお、参考のために$BF_2$イオンを加速エネルギ５ｋｅＶ、ドーズ量$1\times10^{14}cm^{-2}$でドープしたサンプルも作成した。

【００４４】

その後、$SiO_2$等の絶縁物をＣＶＤで堆積し、異方性エッチングを行なうことにより、サイドウオールスペーサ２８を作成する。サイドウオールスペーサ２８作成後、デカボランを加速エネルギ３０ｋｅＶ、ドーズ量$2\times10^{14}cm^{-2}$でイオン注入し、ソース／ドレイン領域２９およびゲート電極２５のイオン注入を行なった。その後、１０００℃、１０秒間の活性化アニールをＲＴＡで行なった。なお、図に示すようにゲート長をＬｇで示す。

【００４５】

図１２Ａ、１２Ｂは、ＬＤＤ領域にデカボランを注入したｐチャネルＭＯＳトランジスタのドレイン電流Ｉｄ対ドレイン電圧Ｖｄ特性およびドレイン電流Ｉｄ対ゲート電圧Ｖｇ特性を示す。電源電圧２Ｖでしきい値Ｖｔｈ＝－０．１３Ｖ、ドレイン電流Ｉｄ－０．３３ｍＡ／μｍ、Ｓファクタ＝８５ｍＶ／ｄｅｃの良好なトランジスタ特性が得られた。

【００４６】

図１３は、ＬＤＤ領域にデカボランと$BF_2$を注入したｐチャネルＭＯＳトランジスタのしきい値Ｖｔｈのゲート長依存性を示すグラフである。横軸にゲート長Ｌｇをμｍで示し、縦軸にしきい値Ｖｔｈをで示す。曲線ｐ３７はデカボランをイオン注入した場合を示し、曲線ｐ３８は$BF_2$をイオン注入した場合を示す。ゲート長が短くなると、曲線ｐ３７、曲線ｐ３８共に上昇するが、その上昇の程度は曲線ｐ３８の方が大きい。すなわち、

デカボランをイオン注入した場合、短チャネル効果が抑制されることが判る。前述したように、$B_{10}H_{14}$と$BF_2$のイオン注入は共に加速エネルギ５ｋｅＶで行なわれており、この場合デカボランのイオン注入の方が浅い接合を形成しているためと考えられる。

【００４７】

図１４は、Ｓファクタのゲート長依存性を示す。横軸はゲート長Ｌｇをμｍで示し、縦軸はＳファクタをｍＶ／ｄｅｃで示す。曲線ｐ３９はデカボランをイオン注入した場合を示し、曲線ｐ４０は$BF_2$をイオン注入した場合を示す。ゲート長Ｌｇが短くなるにつれて曲線ｐ３９、ｐ４０共に上昇するが、その程度は曲線ｐ３９の方が小さい。すなわち、Ｓファクタにおいてもデカボランをイオン注入した方が短チャネル効果を抑制できることが判る。

【００４８】

図１５は、ドレイン電流Ｉｄのしきい値Ｖｔｈ依存性を示す。横軸はしきい値ＶｔｈをＶで示し、縦軸はドレイン電流ＩｄをｍＡ／μｍで示す。しきい値Ｖｔｈをパラメータとすると、デカボランをイオン注入した場合も$BF_2$をイオン注入した場合と同様の電流が流れることが判る。

【００４９】

以上の実験結果をまとめると、デカボランイオンを注入して浅いｐ型領域を形成した場合、短チャネル効果を抑制したより特性のよいｐチャネルＭＯＳトランジスタを形成できることが判る。

【００５０】

ｐチャネルＭＯＳトランジスタの多結晶シリコンゲートの高さは、通常ボロンの注入深さによって決められる。ゲート酸化膜にボロンが打ち込まれないように多結晶シリコンゲート電極の高さをある程度以上高くするためである。多結晶シリコンゲート電極がゲート酸化膜側で空乏化すると、良好なトランジスタ特性が期待できない。このため、多結晶シリコンゲートには充分高濃度の不純物をドープする必要がある。現在のイオン注入技術では、ボロンを大量にかつ浅くイオン注入することは困難である。

【００５１】

図１６は、Ｓｉ中にボロンをイオン注入した時のプロファイルを計算によって算出した結果を示すグラフである。横軸は深さをμｍで示し、縦軸は濃度を$atoms/cm^3$で示す。ボロンイオンの加速エネルギは、１ｋｅＶ～７ｋｅＶの範囲で変化させ、ドーズ量は$2\times10^{15}cm^{-2}$とした。なお、曲線ｐ４１～ｐ４７は加速エネルギが１～７ｋｅＶのボロンイオン注入の場合を示す。なお、曲線ｎ１は参考としてバックグラウンドにＡｓをイオン注入した場合の分布を示す。現在行なわれているボロンの低加速エネルギイオン注入は加速エネルギが約７ｋｅＶである。この場合、注入深さが約１６０ｎｍとなる。プロセスマージンを考慮し、ゲート高さは通常１８０ｎｍに設定される。ゲート高さをたとえば１２０ｎｍ以下にしようとすると、プロセスマージンを考慮してイオン注入深さは約１００ｎｍ以下とすることが望まれる。この場合、ボロンイオンの加速エネルギは３ｋｅＶ以下となる。現在のイオン注入装置を用い、３ｋｅＶ以下の加速エネルギでボロンイオンを注入しようとすると、ビーム電流の指数関数的減少により膨大な時間を必要とする。

【００５２】

前述したように、デカボランを用いれば、Ｂ１原子当りの加速エネルギを約１／１０に低減することができ、かつイオン電流に対するボロン原子濃度を約１０倍にすることができる。従って、デカボランのイオン注入を行なえば、高さの低いゲート電極を実現することが容易となる。ゲート電極の高さを低くすると、ポリサイドゲート電極の場合のポリサイドゲートエッチングが容易になり、コンタクトホールの形成が容易になる。

【００５３】

埋め込みチャネル型ＭＯＳトランジスタは、ゲート直下に極薄のｐｎ接合を作ることが製造技術上の鍵になる。埋め込みチャネル型ｐチャネルＭＯＳトランジスタの作成において、埋め込みチャネル作成にデカボランを使用することができる。デカボランをイオン注入して浅い接合を形成すれば、良好な埋め込みチャネル型ｐチャネルＭＯＳトランジスタを

形成でき、短チャネル効果に対して強いｐチャネルＭＯＳトランジスタを得ることができる。

【００５４】

図３に示したイオン注入装置においては、デカボランのイオン化に電子照射を用いている。照射電子のエネルギを高くすればデカボランのイオン化率を上げることができ、ビーム電流が多く取れる。しかしながら、照射電子のエネルギを高くすると、デカボランの分子が分解しやすくなる。たとえば、$B^+$ や$B_2H_4^+$ イオン等が生成される。このような状態でイオン注入を行なうと、質量の小さいボロンを含むイオンが深く注入され、実効的な注入深さが深くなってしまう。

【００５５】

図１７Ａ～１７Ｄはデカボラン分子に加速電圧２０Ｖから１００Ｖの電子を照射した時の発生粒子の質量分析結果を示すグラフである。横軸は質量数を示し、縦軸は信号強度を示す。図１７Ａは、加速電圧Ｖｅが２０Ｖの場合を示し、図１７Ｂは、加速電圧Ｖｅが４０Ｖの場合を示し、図１７Ｃは、加速電圧Ｖｅが６０Ｖの場合を示し、図１７Ｄは、加速電圧が１００Ｖの場合を示す。

【００５６】

照射電子の加速電圧が２０Ｖの場合、図１７Ａに示すようにＢ原子を９個以下含むデカボラン由来スピーシーズは極めて少なく、Ｂ原子を１０個含むイオンがほとんどである。Ｂ原子を１０個含むスピーシーズを便宜上デカボランと呼ぶ。

【００５７】

図１７Ｂ～１７Ｄに示すように、加速電圧を４０Ｖ以上にすると、デカボランの存在確率は急減し、Ｂ原子を９個以下含むスピーシーズが増大する。加速電圧をＶｅ＝１００Ｖの場合には、Ｂ原子を１個含むスピーシーズの強度が最も高く、Ｂ原子の数が増大するにつれて高さは減少し、Ｂ原子を９個含むスピーシーズのピークが最も低く、デカボランのピーク高さは$B_9$ よりは高くなっている。

【００５８】

加速電圧Ｖｅを４０Ｖ以上に設定した場合には、デカボランをイオン化して発生した全てのスピーシーズをイオン注入すると、種々の質量のデカボラン由来スピーシーズがイオン注入されてしまう。イオン化後に質量分析を行なわない場合には、照射電子の加速電圧は４０Ｖ未満に設定することが好ましい。

【００５９】

デカボランをプラズマや高エネルギの電子照射でイオン化した後、質量分析する場合の公的な質量分析範囲について説明する。

【００６０】

ボロンの同位体としては、原子量１０のボロンと原子量１１のボロンが約２：８の割合で存在する。デカボランはＢ原子を１０個含むため、同位体の混合比率によって分子量は１１４から１２４まで変化する。

【００６１】

イオン注入において、イオンを作成した後質量分析を行なえば、イオン注入をするイオン種を選択することができる。$B^+$ イオンや$As^+$ イオンを注入する場合は、原子量１１と５４を選択すればよい。しかしながら、デカボランの場合には分子量が上述のように広い範囲に存在し得る。すべての同位体の組み合わせを考慮すると、質量分析で分子量１１４から１２４のイオンを選択することとなる。また、デカボランを構成している水素は原子照射によって脱離し易い。

【００６２】

図１８は、照射電子の加速電圧Ｖｅを２０Ｖ、４０Ｖ、６０Ｖに設定した時の、デカボランを質量分析した結果を質量数１０７から１２４の範囲で示す。横軸は質量数を示し、縦軸は信号強度を示す。いずれの加速電圧の場合にも、質量数１１７付近でピークを有する分布が形成されている。加速電圧Ｖｅが２０Ｖの場合には、質量数１１１から１２４の範囲で分布している。加速電圧を４０Ｖ以上にしても、質量数の多い領域の分布はあまり変

らず、質量数の低い領域に分布が広がる。加速電圧を４０Ｖ以上に設定した時は、Ｂ原子が９個以下のスピーシーズが多く発生するため、質量分析の必要性が生じる。この場合、選択する質量数は１０７から１２３の範囲に設定することが望ましい。このように選択する質量数の範囲を設定することにより、Ｂ原子を９個以下含むスピーシーズを排除し、Ｂ原子を１０個含むスピーシーズのほとんど全部を利用することが可能となる。

【００６３】

図１９～２１は、デカボランイオンを注入するのに適したイオン注入装置の構成例を示す。

【００６４】

図１９において、デカボランを収容するデカボランボトル５０は、デカボランボトル５０の内部を所望の温度まで加熱するためのヒータ５１を備え、ニードルバルブ５２を介して真空槽５３に接続されている。真空槽５３内においては、フィラメント５５とアノード５６を含む電子照射系５４が、デカボランガスが噴射される位置の近くに配置されている。引出電極５７は、電子照射系５４の次に配置され、正イオンを引き出す。引出電極５７によって引き出されたイオンは、レンズ５８ａ、５８ｂおよび開口５９によって収束される。収束されたイオンビームは、加速器６０によって加速され、Ｘ偏向器６１およびＹ偏向器６２によって偏向され、ターゲット６３の所望の位置に注入される。

【００６５】

図１９の装置において、デカボラン分子は電子照射によってイオン化されている。

【００６６】

図２０の装置においては、図１９のニードルバルブに代え、ストップバルブ６５とマスフローコントローラ６６の組み合わせが用いられている。ストップバルブ６５は、マスフローコントローラ６６の背圧が約１ｔｏｒｒ以上であることを保証する。第１段電子レンズ５８ａの後に、入口開口６７、電子レンズ６８、アナライザマグネット６９および出口または分解開口７０が配置され、質量分析器を構成している。出口開口７０の後には、他の電子レンズ７１が配置されている。図２０の装置の他の構成は、図１９の対応するものと同等である。

【００６７】

図２０の装置において、デカボランの流れはストップバルブ６５とマスフローコントローラ６６によって制御できるため、デカボランボトル５０は５０℃以上に加熱することができ、デカボラン分子の供給を安定化することができる。

【００６８】

図２１の装置においては、電子照射系の代わりに、プラズマイオン源７３が用いられている。引出電極７４は、プラズマイオン源の後に配置され、イオンビームをアナライザマグネット６９に供給する。図２１の装置の他の構成要素は、図２０のものと同等である。

【００６９】

以上説明したように、極めて浅いドープ領域を形成するためにデカボランイオンを用いることができる。さらに、我々は、活性化アニーリング後の不純物分布を極めて浅く維持するためには、一定レベル以下の加速エネルギが好ましいことを見いだした。

【００７０】

図２２は、デカボランイオンを５ｋｅＶおよび１０ｋｅＶで加速した時のボロン分布を示す。図において、横軸は２次イオン質量分析（ＳＩＭＳ）で測定した基板内の深さをｎｍで示し、縦軸はＢ濃度を原子／$ｃｍ^{3}$ で示す。曲線ｐ５０は、デカボランイオンを５ｋｅＶで加速し、$１\times１０^{13}ｃｍ^{-2}$のドーズとした時の打ち込んだままのボロン分布を示す。曲線ｐ５１は、曲線ｐ５０のイオン注入後、９００℃で１０秒間の活性化アニーリングを行った後のボロン分布を示す。ボロン分布ｐ５１は、曲線ｐ５０の分布に極めて近いことが明確に読み取れる。

【００７１】

曲線ｐ５２は、ドーズ量$１．０\times１０^{13}ｃｍ^{-2}$で、１０ｋｅＶで加速したデカボランを注入した後の注入したままのボロン分布を示す。曲線ｐ５３は、曲線ｐ５２のデカボラン注

入の後、９００℃で１０秒間の活性化アニーリングを行った後のボロン分布を示す。活性化アニーリングによって、分布ｐ５３は、注入したままの分布ｐ５２よりもかなり深く拡張している。電気的に活性な不純物原子を得るためには、打ち込んだイオンを活性化することが必要である。したがって、極めて浅い接合深さを得るためには、デカボランを約５ｋｅＶ以下の加速エネルギで注入することが好ましい。

【００７２】

ボロンイオンを注入する場合には、$10^{18}$ｃｍ$^{-3}$以下のボロン分布が過度に拡がる（拡散する）過渡的増速拡散が常に認められた。この現象は、デカボランを１０ｋｅＶの加速エネルギで注入した時にも認められた。５ｋｅＶの加速エネルギにおいては、過渡的増速拡散は著しく低減し、極めて浅い接合を可能とした。５ｋｅＶの加速エネルギにおいては、単一のボロンイオン当たりの平均的加速エネルギは５００ｅＶであり、この値は従来のボロンイオン注入においては、実現不可能であった。

【００７３】

不純物原子は、Ｓｉ結晶をチャンネリングによって通過することがある。チャンネリングを防止するためには、基板表面にアモルファス層を形成することが好ましい。たとえば、Ｇｅイオンを加速エネルギ４０ｋｅＶ、ドーズ$2\times10^{14}$原子／ｃｍ$^{2}$ で注入し、その後デカボランイオンをＳｉ結晶に注入すればよい。

【００７４】

以上説明したように、デカボランを用いることにより、Ｂのイオン注入と比較して高い効率でボロンを浅くイオン注入することが可能となる。

【００７５】

本発明は、以下の態様を含む。

１．固体のデカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化する工程と
気体状のデカボラン分子をイオン化させる工程と
デカボランのイオンを電界で加速してターゲットに注入する工程と
を含むイオン注入方法。

【００７６】

２．前記固体デカボランの気化工程が固体デカボランを減圧雰囲気中で気化させる工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００７７】

３．前記固体デカボランを気化する工程が、固体デカボランを加熱する工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００７８】

４．さらに、気化したデカボランをストップバルブと微調整バルブを介して前記イオン化工程を行なうイオン化室へ供給する工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００７９】

５．前記イオン化工程が電子照射によってデカボランをイオン化させる工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００８０】

６．前記電子照射工程が加速エネルギ２０ｅＶ以下の電子を照射する工程を含む５項記載のイオン注入方法。

【００８１】

７．前記イオン化工程の後に質量分析を行ない、所望のイオンを選択する工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００８２】

８．前記イオン化工程の後に質量分析を行ない所望のイオンを選択する工程を含む５項記載のイオン注入方法。

【００８３】

９．前記イオン化工程がプラズマによってデカボラン分子をイオン化させる工程を含む１項記載のイオン注入方法。

【００８４】
１０．前記イオン化工程の後に質量分析を行ない、所望のイオンを選択する工程を含む９項記載のイオン注入方法。
【００８５】
１１．前記イオン化工程の後に質量分析を行ない所望のイオンを選択する工程を含む７項記載のイオン注入方法。
【００８６】
１２．前記質量分析を行なう工程が前記イオン化したデカボランの分子量を１０７から１２３の質量範囲に選択する工程を含む１１項記載のイオン注入方法。
【００８７】
１３．前記デカボラン中のボロン原子が原子量１１のボロンのみで構成されている１項記載のイオン注入方法。
【００８８】
１４．前記デカボラン中のボロン原子が原子量１０のボロンのみで構成されている１項記載のイオン注入方法。
【００８９】
１５．前記デカボランのイオンを加速する工程は、約５ｋｅＶ以下の加速エネルギでイオンを加速する１項記載のイオン注入方法。
【００９０】
１６．さらに、前記デカボランのイオンを加速する工程の前に、前記ターゲットに電気的に不活性の不純物原子を注入し、アモルファス表面層を形成する工程を含む１項記載のイオン注入方法。
【００９１】
１７．デカボランをイオン化する工程と、
イオン化したデカボランをＳｉウエハに注入する工程と
を含む半導体装置の製造方法。
【００９２】
１８．デカボランをイオン化するイオン化工程と、
イオン化したデカボランをＳｉウエハに約５ｋｅＶ以下の加速エネルギで注入する注入工程と
を含む半導体装置の製造方法。
【００９３】
１９．前記Ｓｉウエハが少なくとも表面にｎ型Ｓｉ領域を含み、さらに注入工程後、活性化アニールを行ないｐｎ接合を形成する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。
【００９４】
２０．前記Ｓｉウエハが絶縁ゲート電極を備えたｎ型Ｓｉ表面層を含み、
前記注入工程がｐチャネルＭＯＳＦＥＴのＬＤＤ部にデカボランを注入しｐｎ接合を形成する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。
【００９５】
２１．前記Ｓｉウエハが絶縁ゲート電極を備えたｎ型Ｓｉ表面層を含み、前記注入工程がｐチャネルＭＯＳＦＥＴのソース／ドレインにデカボランを注入しｐｎ接合を形成する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。
【００９６】
２２．前記注入工程がｐチャネルＭＯＳＦＥＴのポリＳｉまたはアモルファスＳｉのゲートにデカボランを注入しｐ$^{+}$型ゲート電極を形成する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。
【００９７】
２３．前記ｐチャネルＭＯＳＦＥＴのゲートが高さ０．１μｍ以下である２２項記載の半導体装置の製造方法。
【００９８】

２４．前記注入工程の前に、Ｓｉウエハに電気的に不活性な元素のイオン注入を行ない、表面領域をプリアモルファス化する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。

【００９９】

２５．前記注入工程が埋め込みｐチャネルＭＯＳデバイスの埋め込みチャネルにデカボランを注入する工程を含む１８項記載の半導体装置の製造方法。

【０１００】

２６．固体デカボラン（$B_{10}H_{14}$）を気化するための手段と、
気化されたデカボラン分子をイオン化するための手段と、
デカボランイオンを電界によって加速し、ターゲットに注入するための手段とを有するイオン注入装置。

【０１０１】

２７．前記デカボランを気化するための手段は、固体デカボランを収容する排気可能な容器を含む２６項記載のイオン注入装置。

【０１０２】

２８．前記排気可能な容器は、ヒータを備える２６項記載のオン注入装置。

【０１０３】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。たとえば、種々の変更、改良、組み合わせが可能なことは当業者に自明であろう。

【０１０４】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、Ｂのイオン注入と比較して、高い効率でボロンを浅くイオン注入することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】デカボランの分子構造を示す図である。

【図２】等価引出電圧とボロン原子数の関係を示すグラフである。

【図３】デカボランイオン注入装置を概略的に示す線図である。

【図４】デカボラン分子がどのようにイオン化でき、イオン化されたデカボランイオンがどのように質量分析できるかを示す線図である。

【図５】基板内のボロン分布を示すグラフである。

【図６】基板内のボロン分布を示すグラフである。

【図７】基板内のボロン分布を示すグラフである。

【図８】面抵抗とアニール温度の関係を示すグラフである。

【図９】面抵抗と接合深さの関係を示すグラフである。

【図１０】リーク電流と逆方向電圧の関係を示すグラフである。

【図１１】デカボランイオン注入を用いて形成する半導体装置の概略断面図である。

【図１２】ドレイン電流とドレイン電圧との関係およびドレイン電流とゲート電圧との関係を示すグラフである。

【図１３】閾値電圧とゲート長との関係を示すグラフである。

【図１４】Ｓ因子とゲート長との関係を示すグラフである。

【図１５】ドレイン電流と閾値電圧との関係を示すグラフである。

【図１６】種々の注入エネルギにおけるボロン分布のシミュレーションの結果を示すグラフである。

【図１７】デカボラン分子を種々の加速電圧の電子で照射した時の質量分析の実験的結果を示すグラフである。

【図１８】デカボラン分子を種々の加速電圧の電子でイオン化した時の種々の種の分布を示すグラフである。

【図１９】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

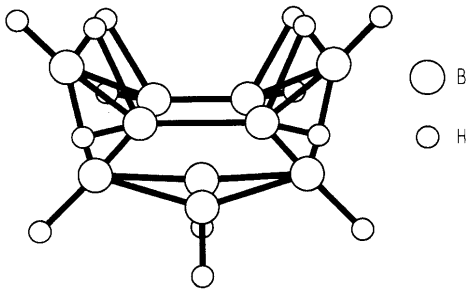
【図２０】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

【図２１】デカボランを注入するためのイオン注入装置を示す概略的断面図である。

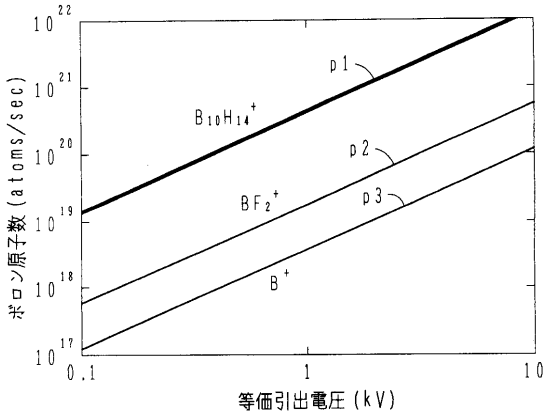
【図２２】デカボランイオンを５ｋｅＶおよび１０ｋｅＶで加速した時のボロン分布を示

すグラフである。

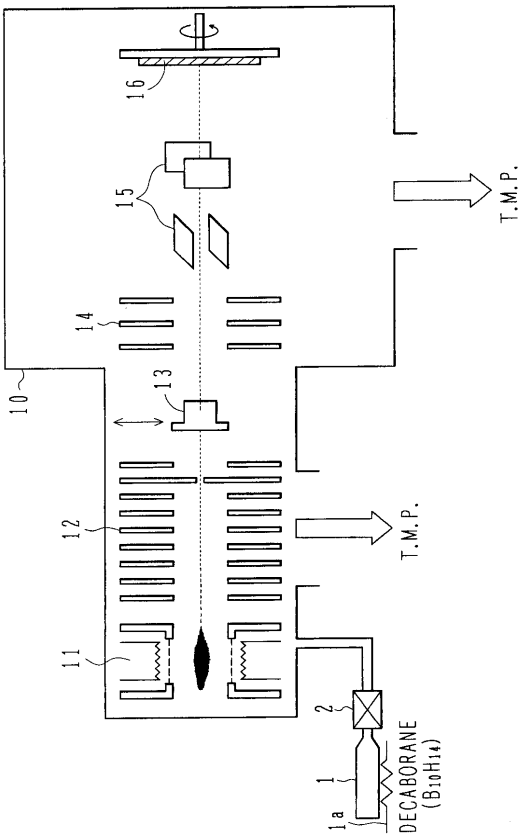
【図１】



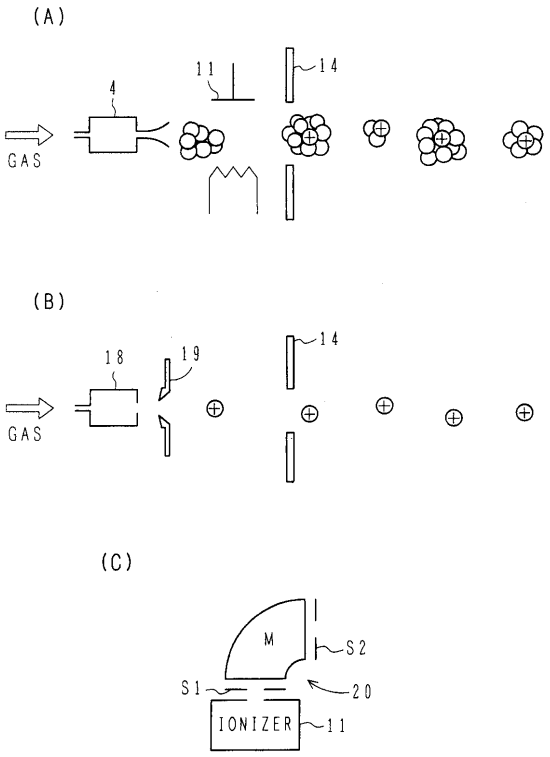

【図２】



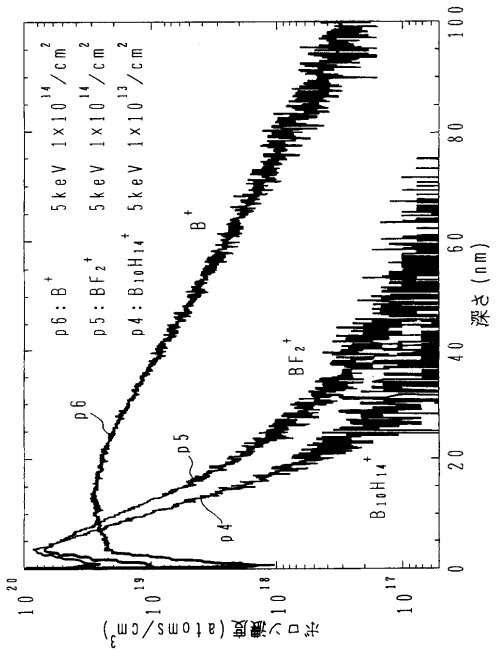

【図３】



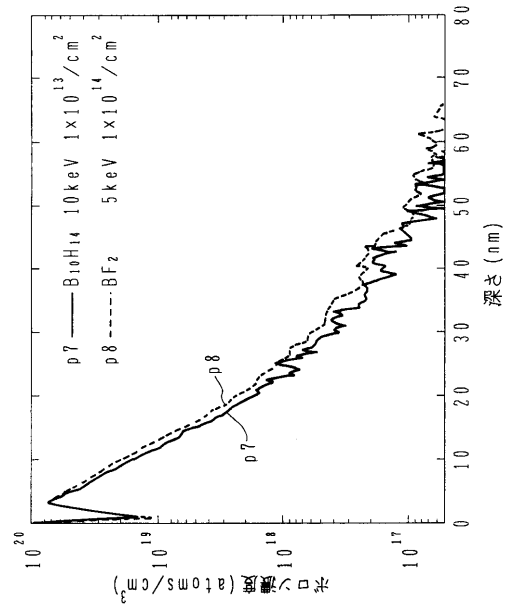
【図４】


(A)
GAS
4
11
14
(B)
GAS
18
19
14
(C)
M
S2
S1
20
IONIZER
11

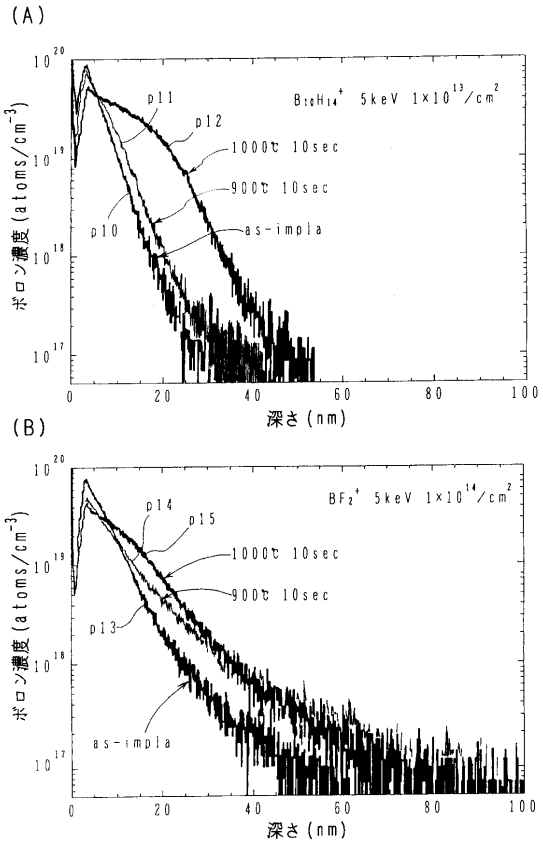
【図５】


p6：B+ 5keV 1×10^14/cm^2
p5：BF2+ 5keV 1×10^14/cm^2
p4：B10H14+ 5keV 1×10^13/cm^2
B+
BF2+
B10H14+
p6
p5
p4
ホロン濃度 (atoms/cm3)
深さ (nm)

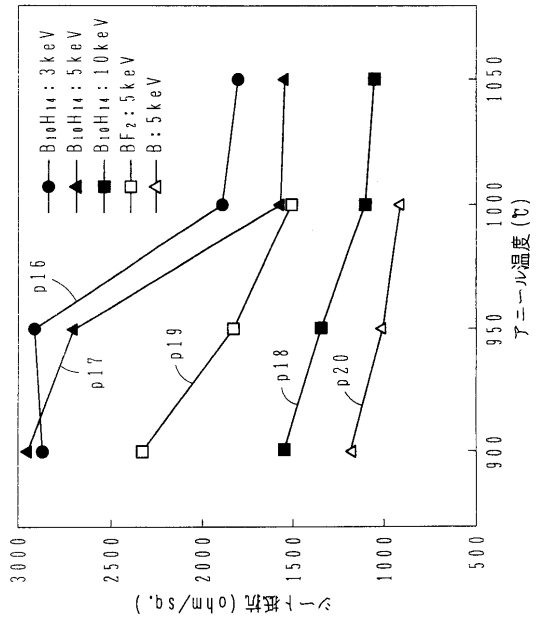
【図６】


p7 —— B10H14 10keV 1×10^13/cm^2
p8 ----- BF2 5keV 1×10^14/cm^2
p8
p7
ホロン濃度 (atoms/cm3)
深さ (nm)

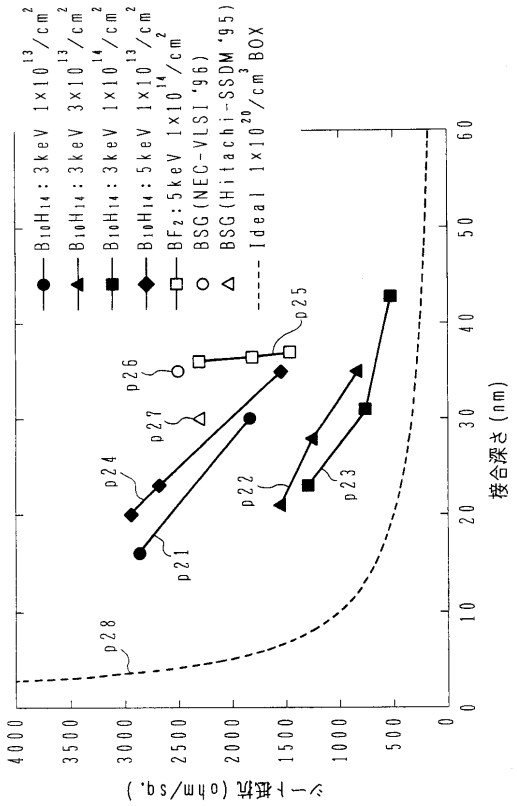
【図７】


(A)
B10H14+ 5keV 1×10^13/cm^2
p11
p12
1000℃ 10sec
900℃ 10sec
p10
as-impla
ボロン濃度 (atoms/cm-3)
深さ (nm)
(B)
BF2+ 5keV 1×10^14/cm^2
p14
p15
1000℃ 10sec
900℃ 10sec
p13
as-impla
ボロン濃度 (atoms/cm-3)
深さ (nm)

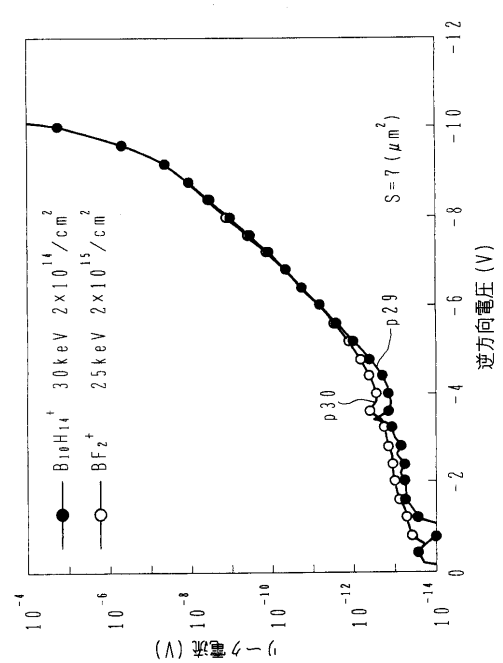
【図８】


$B_{10}H_{14}$：3keV
$B_{10}H_{14}$：5keV
$B_{10}H_{14}$：10keV
$BF_2$：5keV
B：5keV
p16
p17
p19
p18
p20
アニール温度（℃）
900
950
1000
1050
シート抵抗（ohm/sq.）
3000
2500
2000
1500
1000
500

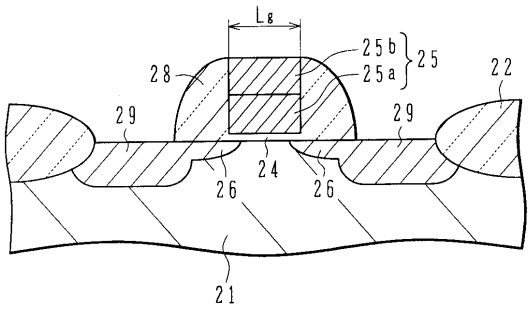
【図９】


$B_{10}H_{14}$：3keV $1\times10^{13}/cm^2$
$B_{10}H_{14}$：3keV $3\times10^{13}/cm^2$
$B_{10}H_{14}$：3keV $1\times10^{14}/cm^2$
$B_{10}H_{14}$：5keV $1\times10^{13}/cm^2$
$BF_2$：5keV $1\times10^{14}/cm^2$
BSG（NEC-VLSI'96）
BSG（Hitachi-SSDM'95）
Ideal $1\times10^{20}/cm^3$ BOX
p21
p22
p23
p24
p25
p26
p27
p28
接合深さ（nm）
0
10
20
30
40
50
60
シート抵抗（ohm/sq.）
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500

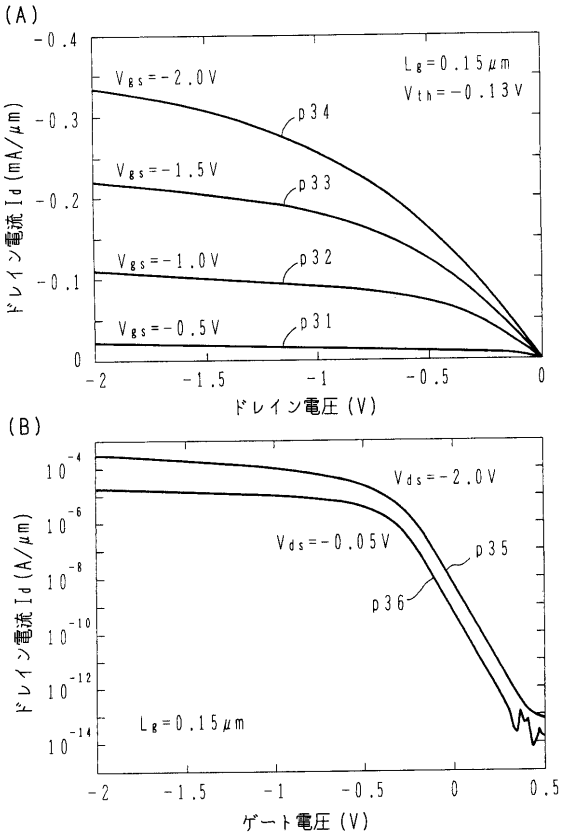
【図１０】


$B_{10}H_{14}^+$ 30keV $2\times10^{14}/cm^2$
$BF_2^+$ 25keV $2\times10^{15}/cm^2$
S=7（$\mu m^2$）
p29
p30
逆方向電圧（V）
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
リーク電流（A）
$10^{-4}$
$10^{-6}$
$10^{-8}$
$10^{-10}$
$10^{-12}$
$10^{-14}$

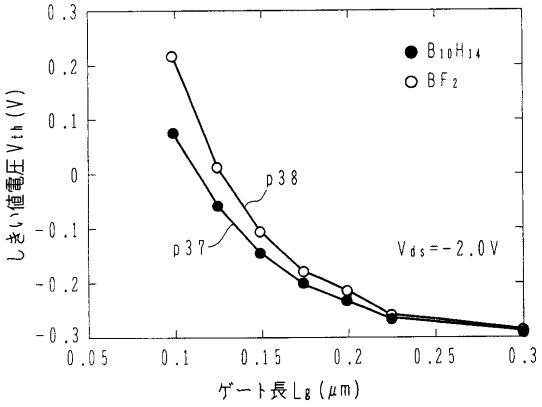
【図１１】


$L_g$
25b
25a
25
28
22
29
29
24
26
26
21

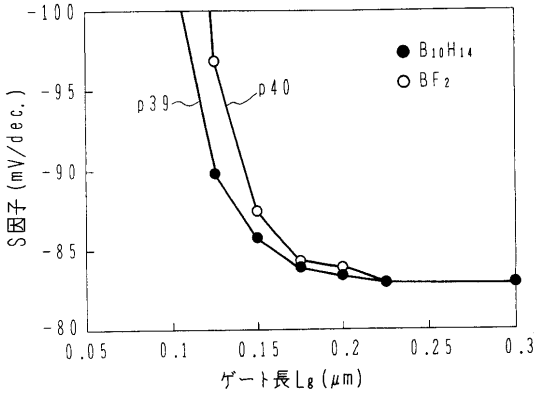
【図１２】



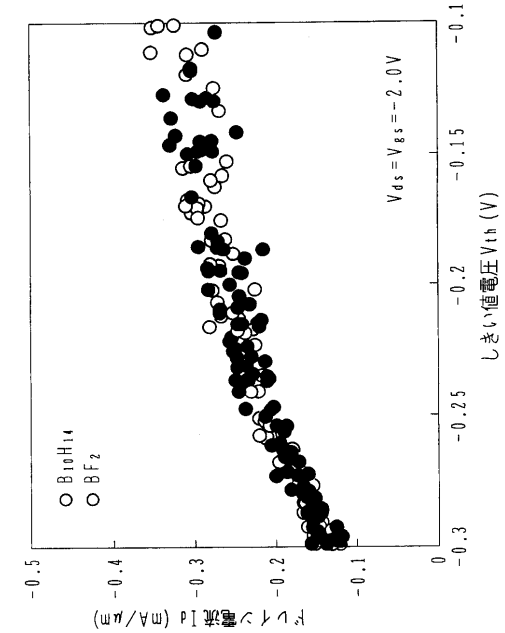

【図１３】



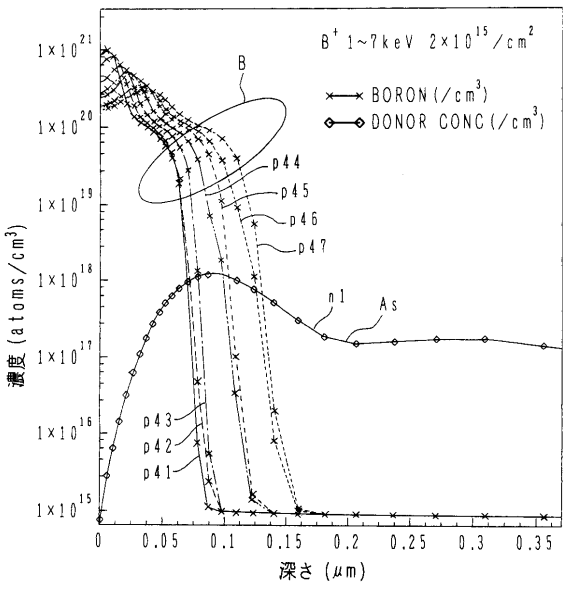

【図１４】



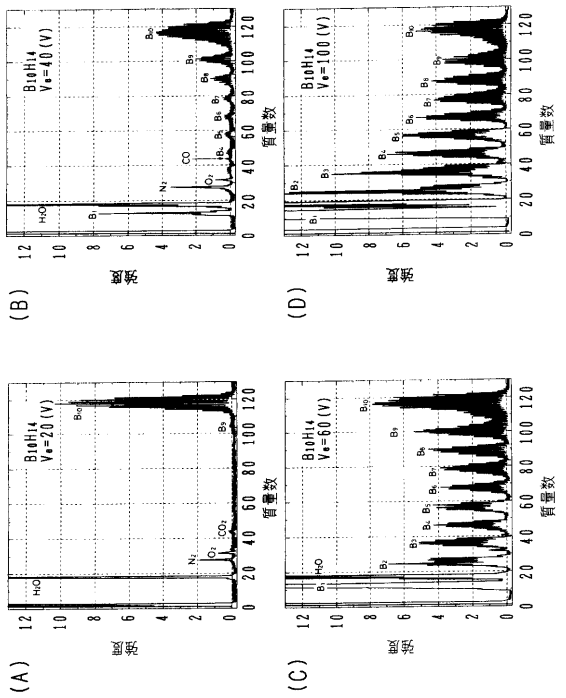

【図１５】



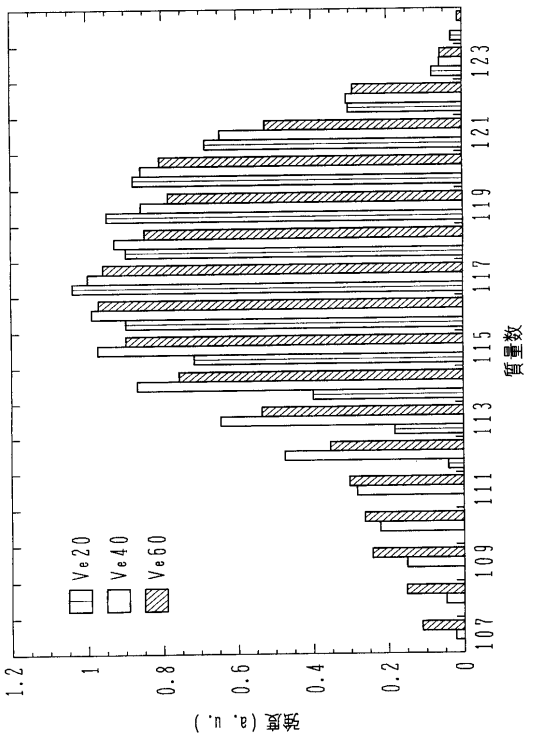

【図１６】



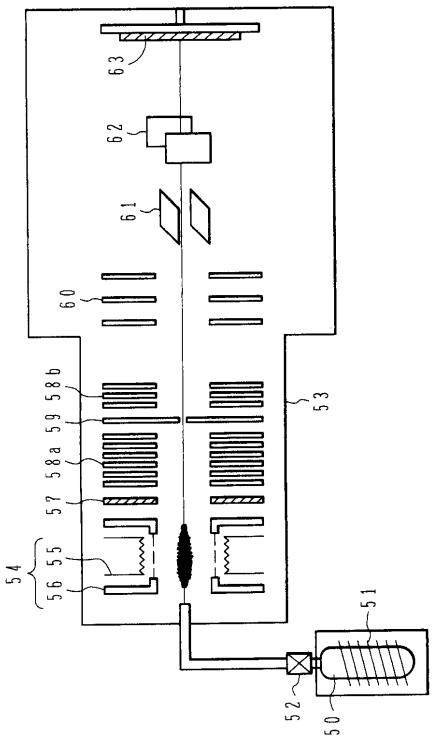
【図１７】



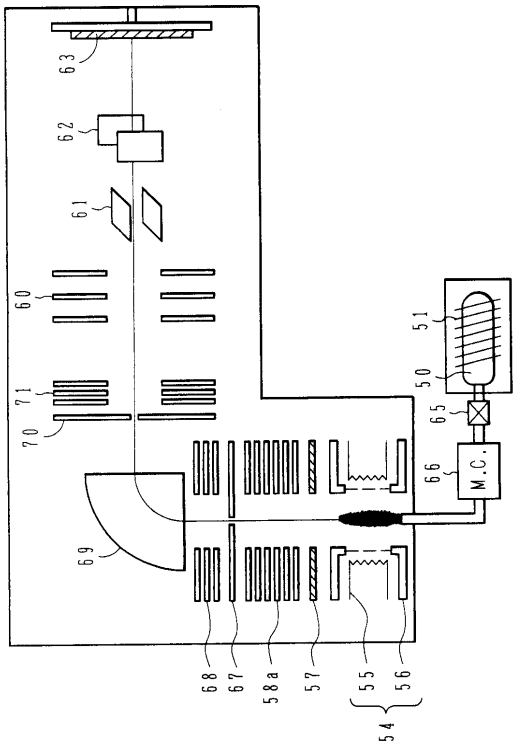

【図１８】



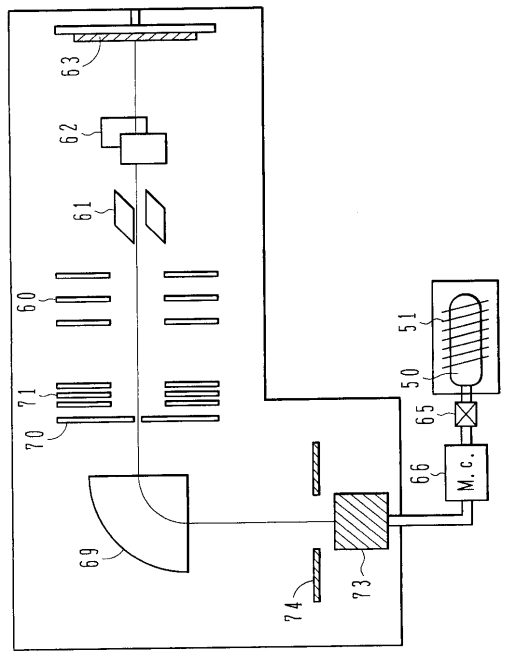

【図１９】



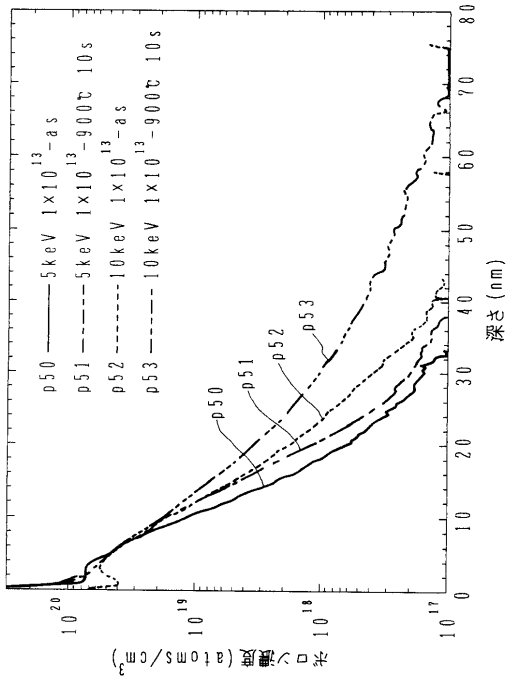

【図２０】



【図２１】


63
62
61
60
71
70
69
74
73
66
M.C.
65
50
51

【図２２】


p50 ——— 5keV 1x10^13-as
p51 - - - - 5keV 1x10^13-900℃ 10s
p52 ------ 10keV 1x10^13-as
p53 -.-.- 10keV 1x10^13-900℃ 10s
p50
p51
p52
p53
0
10
20
30
40
50
60
70
80
深さ(nm)
10^20
10^19
10^18
10^17
ボロン濃度(atoms/cm^3)

フロントページの続き

(72)発明者 松尾 二郎
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
(72)発明者 山田 公
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
(72)発明者 竹内 大輔
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
(72)発明者 豊田 紀章
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内
(72)発明者 島田 規広
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学内

合議体
審判長 松本 邦夫
審判官 河本 充雄
審判官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平1－225117（JP, A）
特開平5－226649（JP, A）
特開平3－165443（JP, A）
竹内大輔他, ポリアトミッククラスターイオン注入による浅い接合形成, 電子情報通信学会技術研究報告TECHNICAL REPORT OF IEICE., 1995年12月, SDM95－196, Vol. 95, No. 400, PP. 83－89
Joycb J et. al, Appearance and Ionization Potentials of Selected Fragments from Decaborane B10H14, Journal of American Chemical Society, 1962年12月20日, Vol. 84, pp. 4198－4205
Yoshifumi ITO et. al, Electron Cyclotron Resonance Discharge of Gas Sublimated from Decaborane by CO2 Laser Irradiation, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32 (1993) pp. 5114－5121 Part 1, No. 11A, November 1993
難波進, エレクトロニクス技術全書〔8〕イオン注入技術, 株式会社工業調査会, 1975年2月28日, PP. 13